

# Table des matières

<b>Préface</b> . . . . .	1
Alberto BROGGI	
<b>Avant-propos 1</b> . . . . .	3
Thierry BAPIN	
<b>Avant-propos 2. « IA et ADAS », comment améliorer la mobilité ?</b> . . . . .	5
Dominique GRUYER	
<b>Introduction</b> . . . . .	11
Abdelaziz BENSRAHAI	
<b>Chapitre 1. Intelligence artificielle pour les véhicules</b> . . . . .	15
Gérard YAHIAOUI	
1.1. Définition de l'intelligence artificielle (IA) . . . . .	15
1.2. Les principales méthodes d'IA . . . . .	17
1.2.1. <i>Deep Learning</i> . . . . .	17
1.2.2. <i>Machine Learning</i> . . . . .	18
1.2.3. <i>Clustering</i> . . . . .	19
1.2.4. Apprentissage par renforcement . . . . .	21
1.2.5. Raisonnement à base de cas . . . . .	22
1.2.6. Raisonnement logique . . . . .	23
1.2.7. Systèmes multi-agents . . . . .	23
1.2.8. Apprentissage PAC . . . . .	23

1.3. Les problématiques modernes en IA pour l'industrie . . . . .	24
1.3.1. Explicabilité : XAI ( <i>eXplainable Artificial Intelligence</i> ) . . . . .	24
1.3.2. Conception de systèmes d'IA dits « hybrides » . . . . .	24
1.4. Le véhicule « intelligent » . . . . .	25
1.4.1. ADAS . . . . .	25
1.4.1.1. Différentes phases de roulage . . . . .	26
1.4.1.2. Différentes notions bien distinctes rattachées à l'idée de danger sur la route . . . . .	27
1.4.2. Véhicule autonome . . . . .	29
1.4.2.1. Différentes missions . . . . .	29
1.4.2.2. Différents niveaux d'autonomie . . . . .	30
1.4.2.3. Responsabilité en cas d'accident. . . . .	31
1.4.2.4. Schéma général du véhicule autonome . . . . .	32
1.4.3. Réalisation des briques de base du véhicule intelligent avec des méthodes d'IA . . . . .	33
1.4.3.1. Gestion du roulage normal . . . . .	33
1.4.3.2. Gestion des situations d'urgence. . . . .	35
1.5. Conclusion . . . . .	36
1.6. Bibliographie. . . . .	36

## **Chapitre 2. Vision conventionnelle ou non : une sélection d'algorithmes bas niveau . . . . . 41**

Fabien BONARDI, Samia BOUCHAFA, Désiré SIDIBÉ  
et Hicham HADJ-ABDELKADER

2.1. Introduction . . . . .	41
2.2. Capteurs de vision . . . . .	42
2.2.1. Caméras conventionnelles . . . . .	43
2.2.1.1. Modèle optique des caméras conventionnelles . . . . .	43
2.2.1.2. Sensibilité spectrale des caméras conventionnelles . . . . .	45
2.2.2. Capteurs émergents . . . . .	46
2.2.2.1. Géométrie non conventionnelle . . . . .	46
2.2.2.2. Photométrie non conventionnelle . . . . .	47
2.3. Choix des informations à extraire des images. . . . .	49
2.3.1. Propriétés d'une caractéristique idéale . . . . .	52
2.3.2. Méthodes de description . . . . .	52
2.3.3. Mise en correspondance de points d'intérêt . . . . .	54
2.3.4. Estimation de l'égo-mouvement et localisation . . . . .	55
2.3.4.1. Estimation du flot optique. . . . .	56
2.3.4.2. Odométrie visuelle et SLAM. . . . .	57

2.3.5. Détection de l'espace navigable par une approche dense. . . . .	61
2.3.5.1. Estimation du flot optique, confiance et fiabilité . . . . .	64
2.3.5.2. Exploitation du flot optique pour la détection de plans 3D . . . . .	67
2.3.6. De la détection de plans 3D à l'odométrie visuelle . . . . .	78
2.3.7. Détection des obstacles par compensation de l'égo-mouvement . . . . .	83
2.3.7.1. Estimation de l'égo-mouvement . . . . .	83
2.3.7.2. Détection des objets dynamiques . . . . .	85
2.3.8. Odométrie visuelle . . . . .	86
2.3.8.1. Traitement des images omnidirectionnelles . . . . .	86
2.3.8.2. Traitement d'images sphériques dans le domaine spectral . . . . .	87
2.3.8.3. Dérivée d'une image sphérique dans l'espace spectral. . . . .	88
2.3.8.4. Évaluation expérimentale . . . . .	89
2.4. Conclusion . . . . .	93
2.5. Bibliographie . . . . .	93

### Chapitre 3. La conduite automatisée, une question

#### de planification de trajectoires . . . . . 101

Olivier ORFILA, Dominique GRUYER et Rémi SAINCT

3.1. Définition de la planification . . . . .	101
3.2. La planification de trajectoire : généralités . . . . .	103
3.2.1. Variables . . . . .	105
3.2.2. Contraintes . . . . .	105
3.2.3. Fonctions de coûts . . . . .	105
3.2.4. Méthodes de planification . . . . .	105
3.2.4.1. Revue de littérature . . . . .	106
3.2.4.2. Copilote respectant les règles légales de circulation . . . . .	111
3.3. La planification de trajectoire multi-objectif . . . . .	128
3.3.1. Scailairisation linéaire. . . . .	131
3.3.1.1. Recherche opérationnelle . . . . .	132
3.3.1.2. Optimisation par colonies de fourmis. . . . .	134
3.3.1.3. Méthode paramétrique MOSA ( <i>Multi Objective Speed Optimization</i> ) . . . . .	136
3.3.2. Scailairisation non linéaire . . . . .	139
3.3.2.1. Algorithme génétique . . . . .	139
3.3.3. Méthodes idéales . . . . .	141
3.3.3.1. <i>Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2</i> (SPEA2) . . . . .	142
3.3.4. Synthèse des méthodes de planification multi-objectif . . . . .	144
3.3.5. L'information de haut niveau . . . . .	146

3.4. Conclusion sur la planification multi-agents pour une flotte de véhicules : l'avenir de la planification . . . . .	147
3.5. Bibliographie . . . . .	148

## **Chapitre 4. Du virtuel au réel, comment prototyper, tester, évaluer et valider les ADAS pour le véhicule automatisé et connecté ? . . . . . 151**

Dominique GRUYER, Serge LAVERDURE, Jean-Sébastien BERTHY,  
Philippe DESOUZA et Mokrane HADJ-BACHIR

4.1. Contexte et objectifs . . . . .	151
4.2. Architecture générique dynamique et distribuée . . . . .	154
4.2.1. Introduction . . . . .	154
4.2.2. Une plateforme interopérable . . . . .	155
4.3. Environnement et conditions climatiques . . . . .	158
4.3.1. Introduction . . . . .	158
4.3.2. La modélisation de l'environnement : lumières, ombres, matériaux et textures . . . . .	159
4.3.3. Les conditions dégradées et les conditions climatiques . . . . .	163
4.3.3.1. Simulation de la pluie (goutte sur l'optique) . . . . .	164
4.3.3.2. Simulation du brouillard . . . . .	166
4.3.4. Les calques de visibilité et les vérités terrains . . . . .	167
4.4. Modélisation des capteurs de perception . . . . .	170
4.4.1. Typologie des technologies de capteurs . . . . .	171
4.4.2. Du modèle fonctionnel au modèle physique . . . . .	172
4.4.3. Les capteurs optiques . . . . .	173
4.4.3.1. Principe de fonctionnement . . . . .	173
4.4.3.2. Simulation du rendu image . . . . .	174
4.4.3.3. Modélisation des effets liés aux composants capteur . . . . .	175
4.4.4. <i>Light Detection and Ranging</i> (lidar) . . . . .	176
4.4.4.1. Principe de fonctionnement . . . . .	176
4.4.4.2. Modèle de simulation . . . . .	177
4.4.5. <i>Radio Detection and Ranging</i> (radar) . . . . .	178
4.4.5.1. Principe de fonctionnement . . . . .	178
4.4.5.2. Modèle de simulation . . . . .	179
4.4.6. <i>Global Navigation Satellite System</i> (GNSS) . . . . .	181
4.4.6.1. Principe de fonctionnement . . . . .	182
4.4.6.2. Modèle de simulation . . . . .	184
4.5. La connectivité et les moyens de communication . . . . .	186
4.5.1. Contexte . . . . .	186
4.5.2. Modèle statistique du canal de propagation . . . . .	187

4.5.3. Modèle physico-réaliste multiplate-forme . . . . .	188
4.6. Quelques cas d'usage pertinent . . . . .	190
4.6.1. Ressources graphiques . . . . .	190
4.6.2. Communication et risque global . . . . .	191
4.6.3. Manœuvre de parking automatisé . . . . .	199
4.6.4. Copilote et automatisation de la conduite . . . . .	200
4.6.5. Écomobilité et profil de conduite écoresponsable . . . . .	204
4.7. Conclusion . . . . .	208
4.8. Bibliographie . . . . .	210

## **Chapitre 5. Standards pour les ITS coopératifs . . . . . 215**

Thierry ERNST

5.1. Contexte et objectifs . . . . .	215
5.1.1. Des systèmes de transport intelligents (ITS) . . . . .	215
5.1.2. Le véhicule connecté et coopératif . . . . .	217
5.1.3. Des systèmes de communication en silos . . . . .	219
5.1.4. Les systèmes de transport intelligents coopératifs (C-ITS). . . . .	220
5.1.5. Diversité des services ITS coopératifs . . . . .	220
5.1.6. Les organismes de normalisation . . . . .	223
5.1.7. Genèse des standards « ITS coopératifs » . . . . .	224
5.2. L'architecture <i>ITS Station</i> . . . . .	226
5.2.1. Description générale . . . . .	226
5.2.2. Unités de communication <i>ITS Station</i> . . . . .	229
5.2.3. Types de stations ITS . . . . .	229
5.3. Fonctionnalités de l'architecture <i>ITS Station</i> . . . . .	231
5.3.1. Combinaison des technologies de communication . . . . .	231
5.3.2. Communications centralisées . . . . .	232
5.3.3. Communications localisées (V2X) . . . . .	232
5.3.4. Communications hybrides . . . . .	234
5.3.5. Communications étendues . . . . .	236
5.3.6. Gestion des communications . . . . .	237
5.3.7. Messagerie . . . . .	238
5.3.8. Organisation et identification des données . . . . .	240
5.3.9. Sécurité . . . . .	241
5.3.10. Évolution des standards . . . . .	242
5.4. Bénéfices de l'architecture <i>ITS Station</i> . . . . .	243
5.5. Déploiement des services ITS coopératifs . . . . .	244
5.6. Conclusion . . . . .	247
5.7. Bibliographie . . . . .	247

<b>Chapitre 6. L'intégration de l'orientation du piéton au profit des ADAS basée sur le cas marocain . . . . .</b>	<b>251</b>
Aouatif AMINE, Abdelaziz BENSRAHAI, Safaa DAFRALLAH et Stéphane MOUSSET	
6.1. Introduction . . . . .	251
6.2. Système d'assistance du conducteur avancé (ADAS) . . . . .	254
6.3. Proposition d'un système applicable pour le cas marocain . . . . .	255
6.4. Conclusion . . . . .	269
6.5. Bibliographie . . . . .	269
<b>Chapitre 7. Véhicule autonome : quels enjeux juridiques ? . . . . .</b>	<b>271</b>
Axelle OFFROY	
7.1. Introduction . . . . .	271
7.2. La définition du véhicule dit « autonome » . . . . .	273
7.3. Cadre légal et expérimentations . . . . .	274
7.4. La notion de « conducteur » . . . . .	275
7.5. La notion de « gardien » . . . . .	276
7.6. Quel régime de responsabilité ? . . . . .	276
7.7. L'assurance du véhicule autonome ? . . . . .	278
7.8. Données personnelles et véhicule autonome . . . . .	280
7.9. La nécessité d'une réglementation uniforme . . . . .	283
<b>Liste des auteurs . . . . .</b>	<b>285</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>287</b>